Uber die

sogenannten ditonischen Zuckungen.

Inaugural-Dissertation

von

Dr. med. Richard Reuter.

1899.

Aus dem physiol. Institut der Universität Würzburg.

Über die sogenannten ditonischen Zuckungen.

Inaugural-Dissertation

verfasst und der

hohen medizinischen Fakultät

der

Königl. Bayer. Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

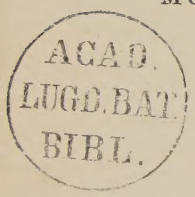
Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshülfe

vorgelegt von

Richard Reuter
aus Kütten in Sachsen.



1899.

Referent: Herr Professor Dr. Fick.

Meinen lieben Eltern gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549806_0096

Mit dem Namen „ditonische Zuckungen“ hat E. Meyer[1]) nach dem Vorgange von Prof. Bernstein eine Gattung von Muskelzuckungen beschrieben, die dann entstehen, wenn man das im Beginn der Zuckung den Muskel belastende Gewicht während der Zuckung verändert, wenn also der Muskel während des Verlaufs der Zuckung eine veränderte Spannung bekommt, daher ditonisch. Diese Zuckungen gehören wie auch die Schleuderzuckungen dem weiteren Gebiete der Wechselzuckungen an. Ausgehend von dem praktischen Interesse, welches die Frage nach dem Arbeitswerth derartiger Zuckungen hat, untersucht Meyer zuerst die Arbeitsleistung des Muskels bei maximaler Reizung, sodann bei minimaler Reizung, endlich die Gestalt der so entstehenden Spannungs- und Zuckungscurve.

Meyer verfuhr dabei folgendermassen. An einer Säule waren senkrecht unter einander zwei ganz gleiche Aluminiumschreibhebel befestigt, die durch eine dünne Seidenschnur mit einander verknüpft sind. Der obere Hebel wurde nach seiner Achse mittelst einer Rolle isotonisch nach Fick belastet. An ihm befindet sich der Angriffspunkt des Muskelpräparates (Semimembranosus und Gracilis grosser Frösche). An dem unteren Hebel, der vermöge des verbindenden Seidenfadens von den Bewegungen des oberen innerhalb

1) E. Meyer, Ueber den Einfluss der Spannungszunahme während der Zuckung auf die Arbeitsleistung des Muskels und den Verlauf der Curve: Archiv für die ges, Physiologie Bd. 69.

gewisser Grenzen abhängig ist, wird das während der Contraction zu hebende also die Spannung verändernde zweite Gewicht angehängt. Dieses zweite Gewicht ist, was für später von Wichtigkeit, nicht isotonisch nach Fick sondern direkt unter dem Angriffspunkt des Muskels angebracht. Bei Parallelstellung der beiden Hebel ist der Verbindungsfaden straff gespannt, und werden also bei einer Zuckung beide Gewichte gleichzeitig gehoben. Bringt man die beiden Hebel in Winkelstellung zu einander, so dass der Faden erschlafft, so kann der zweite Hebel erst dann gehoben werden, wenn der obere Hebel eine Strecke in die Höhe gehoben ist. Die Wechselstellung des unteren Hebels wird durch einen verstellbaren horizontal verlaufenden Metallstab bewirkt, und kann man also durch verschieden hohe Einstellung desselben den Zeitpunkt, wo das am unteren Hebel befindliche Gewicht vom Muskel während seiner Zuckung gehoben wird, beliebig variiren. Die weitere Versuchsanordnung des Meyer war nun so, dass zunächst eine monotonische Zuckung auf einer Trommel verzeichnet wurde, dann folgten mehrere ditonische Zuckungen abhängig von der allmählich immer höher werdenden Einstellung des horizontalen Unterstützungsstabes. Die Reizung des Muskels erfolgte durch Induktionsöffnungsschlag eines Du Bois'schen Schlitteninduktoriums, und wurde die Belastung der beiden Hebel in den einzelnen Versuchsreihen unverändert gelassen. Die Hebel zeichneten zwei Curven unter einander, aus denen beiden, wie leicht ersichtlich, die geleistete Arbeit berechnet werden konnte. Meyer untersuchte zuerst die Arbeitsleistung bei maximaler Reizung und fand, dass bei ditonischer Zuckung mehr Arbeit geleistet wurde als bei monotonischer und zwar eine um so grössere Arbeit, je früher die zweite Last gehoben wurde. Erst wenn die Hebung der zweiten Last sich dem Maximum der Zuckung näherte, so sank die Arbeit unter die der monotonischen Zuckung. Liess Meyer die Belastung des zweiten Hebels bei jeder Zuckung einer Versuchsreihe grösser werden, so ergab sich, dass die

Arbeitsleistung erst rasch, dann langsamer wuchs, ein Maximum erreichte und dann langsam wieder abnahm. Er erwähnt dabei, dass Sogalla[1]) bei seinen Versuchen über die Arbeitsleistung des Muskels bei Schleuderzuckungen zu einem ganz ähnlichen Resultate gekommen sei, obwohl doch dessen Versuchsanordnung von der seinigen verschieden sei.

Sodann untersuchte Meyer die Arbeitsleistung der ditonischen Zuckung bei minimaler Reizung. Er bezeichnet als einen minimalen Reiz einen solchen, der nur eine geringe Erhebung des zweiten Gewichtes bewirken kann, Hubhöhe des unteren Hebels = 0,5 — 1,5 mm. Er zeigt, dass bei minimaler Reizung das ist also, wo eben noch beide Gewichte gehoben werden, bei der ditonischen Zuckung weniger Arbeit geleistet wurde, als bei der entsprechenden monotonischen.

Endlich hat Meyer noch den Verlauf der ditonischen Zuckungen untersucht und dabei als wesentliches Resultat festgestellt, dass die Dauer der ditonischen Zuckung länger als die der monotonischen ist, und auch die Maxima der ditonischen Zuckung später fallen, dass also das Areal der ditonischen Zuckung weit über das der monotonischen hinausgeht. Die während der Zuckung stattfindenden Spannungsveränderungen registrirt er durch den Fick-Schönlein'schen Spannungszeichner, er unterlässt es aber die dabei erhaltenen Curven in gehöriger Weise zu deuten, und werden wir auf diesen nicht unwichtigen Punkt weiter unten zurückkommen.

Gegen diese Arbeit von Meyer lassen sich eine Reihe von Einwänden machen. Meyer ist nämlich der Ansicht, dass eine Versuchsanordnung sich wesentlich unterscheide von der Versuchanordnung, die Sogalla[2]) in seiner Arbeit über Schleuderzuckungen des Muskels getroffen hat. Er ist deshalb nicht unwichtig die Versuchsanordnung des Sogalla

1) Sogalla, Beiträge zur mechanischen Analyse der Muskelzuckungscurve, Würzburg 1889.

2) Sogalla, Beiträge zur mechanischen Analyse der Muskelzuckungscurven, Würzburg 1889.

kurz wiederzugeben. Sogalla ging bei seinen Versuchen folgendermassen vor. Er befestigte an dem Muskelpräparate einen möglichst masselosen Hebel aus Schilfrohr, der in der Nähe seines Drehpunktes belastet wurde. Um dieselbe Achse ist ein zweiter zweiarmiger Hebel bestehend aus einer möglichst dünnen und schmalen Messingschiene drehbar, dessen Schwerpunkt in der Achse liegt, und der auf der einen Seite ein Metallreiterchen trägt zu genauem Aequilibriren. An diesem Messinghebel sind nun noch in gleicher Entferung von seinem Unterstützungspunkte beiderseits Stifte angebracht, an welchem Gewichte angehängt wurden. Dieser zweite Hebel ist nun sonst mit dem Muskel nicht verknüpft, liegt aber mittels eines seitlichen Vorsprunges auf dem ersten Hebel auf, sodass er von ihm beim Aufsteigen mitgenommen werden muss. Sobald aber die Contraction des Muskels langsamer wurde, ging der zweite Hebel mit der erlangten Geschwindigkeit für sich weiter und der Muskel zog nur noch an dem Schilfhebel, dessen Zeichenspitze auf die Weise den feineren isotonischen Zuckungsverlauf verzeichnete. Der zweite (geschleuderte) Hebel konnte dabei so gestellt werden, dass er erst im Verlauf der isotonisch beginnenden Zuckung des Muskels ergriffen werden konnte. Er liess nun bei Beginn einer jeden Versuchsreihe den Muskel eine rein isotonische Zuckung machen. Hierauf wurde der Schleuderhebel in verschiedenen Höhen eingestellt und zwar zuerst auf Mitnahme bei beginnender Contraction, dann so, dass dem Muskel erst eine gewisse Zusammenziehung gestattet wurde. Er erhielt auf diese Weise Curven, welche sich von der ersten rein isotonischen dadurch unterschieden, dass mehr oder weniger lange Zeit nach Beginn der Zuckung der Muskel durch einen Widerstand, nämlich den Schleuderhebel in eine veränderte Spannung gebracht wurde, und in dieser solange verblieb, bis sich der Schleuderhebel wieder von ihm entfernte, um dann unter den ursprünglichen Spannungsverhältnissen bis zu Ende zu verlaufen, sogenannte Schleuder-

zuckungscurven. Bezüglich der Form der Schleuderzuckungscurven kam Sogalla zu folgenden Resultaten. Wurde nur der aequilibrirte Hebel oder derselbe mit ganz geringen Gewichten belastet geschleudert, so fielen die meisten Schleuderzuckungscurven innerhalb des Areals der rein isotonischen, bei steigender beiderseitiger Belastung des Messinghebels also bei Zunahme des Trägheitsmomentes der geschleuderten Masse trat dagegen eine merkliche Veränderung der Curven ein, dieselben wurden länger und fielen ausserhalb des Areals der isotonischen Zuckung. Eine Verspätung des Zuckungsgipfels konnte er regelmässig constatiren bei Schleuderung grösserer Massen, ausgenommen dann, wenn der Schleuderhebel extrem hoch oder tief eingestellt war, in welchem Falle sich die Zuckungsgipfel zeitlich wieder denen der isotonischen Zuckung näherten. Ueber die Arbeit, die bei den Schleuderzuckungen geleistet wird, hat Sogalla keine erschöpfenden Versuche angnstellt. Immerhin kommt er auf Grund einzelner Versuchsreihen zu dem Resultat, dass „bei Schleuderzuckungen die Arbeitsleistung des Muskels bis zu einem gewissen Gerade mit der wachsenden Trägheit der geschleuderten Massen steigt, wobei es sich gleich bleibt, ob die Schleuderung bereits bei der natürlichen Länge des Muskels begann oder erst dann, wenn der Muskel einen Teil seiner Verkürzung durchlaufen hat“. Er kommt darauf hin zu dem allgemeinen Resultat, dass die Zusammenziehung des Muskels durch zeitweise Belastung während des Verlaufes der Zuckung vergrössert werden kann. Und zwar begründet er dies mit einer Beobachtung, die er bei seinen Versuchen wiederholt gemacht hatte, dass nämlich unter gewissen Umständen die isotonische Hubhöhe von der Schleuderzuchungscurve überschritten wurde.

Dies kurz die Versuchsanordnung und die Resultate von Sogalla. Vergleicht man diese mit der Arbeit Meyer's, so sieht man ohne Weiteres, dass dieselben in vielen Punkten mit einander übereinstimmen. Ein Unterschied in der Ver-

suchsanordnung beider besteht in der Hauptsache nur darin, dass bei Sogalla ein äquilibrirter Schleuderhebel vom Muskel ergriffen und bewegt worden ist, während bei Meyer der Muskel ein direct an ihn gehängtes Gewicht zu heben hat. Wenn nun Meyer der Ansicht ist, dass seine Versuchsanordnung wesentlich verschieden sei von der Sogalla's, so befindet er sich im Irrtum aus folgendem Grunde. Die Vorgänge im Muskel verlaufen nämlich in beiden Fällen trotz der äusserlich verschiedenen Anordnung in annähernd gleicher Weise und zwar in der Art, dass im Beginn der Bewegung des Schleuderhebels resp. des Gewichtes die Spannung des Muskels zunimmt, dann bei weiterer Erhebung des Hebels resp. des Gewichtes wieder abnimmt. Es muss nämlich berücksichtigt werden, dass das am Muskel angehängte Gewicht bei seiner Erhebung ebenso wie der Hebel geschleudert wird vermöge der ihm innewohnenden Trägheit. Dass dieser Einwand berechtigt ist, ergiebt sich ohne Weiteres aus den Curven, die Meyer in seiner Abhandlung bringt cfr. besonders Curvenfolge 3 b. Wenn man diese Curven betrachtet, so sieht man, dass in dem Moment, wo das zweite belastende Gewicht gehoben wird, in der That eine merkliche Zunahme der Spannung eintritt. Während man aber nun erwarten sollte, dass die einmal erreichte Spannung solange anhält, als das zweite Gewicht auf die Spannung einwirkt, sieht man die Spannungscurve sofort wieder ebenso schnell abfallen. Vergleicht man die entsprechenden Spannungs- und Zuckungscurven im Bezug auf ihren zeitlichen Verlauf, so sieht man, dass zu einer Zeit, wo der Muskel den höchsten Gerad seiner Verkürzung erreicht hat, die Spannung desselben von der erlangten Höhe längst wieder herunter und fast auf das Niveau der Anfangsspannung gesunken ist, dass also in diesem Momente, wo zeitlich doch sicher das zweite Gewicht mit seiner vollen Last noch auf den Muskel einwirken sollte, eine dadurch bedingte Beeinflussung der Spannung nicht mehr existirt. Dass dies sich so verhalten muss, ist ja, wie schon oben

angedeutet, leicht erklärlich aus dem Umstande, dass nämlich das am unteren Hebel angehängte Gewicht, sobald es einmal vom Muskel gehoben ist, geschleudert wird und vermöge der erlangten Eigenbewegung den Muskel nicht mehr dauernd mit seinem vollen Betrage spannen kann.

Wenn in der eben dargelegten Weise die Versuchsanordnungen beider Autoren im Wesentlichen sich nicht von einander unterscheiden, so müssen auch die Resultate ihrer Untersuchungen bis zu einem gewissen Grade miteinander übereinstimmen. Dies gilt zunächst von der Form der Zuckungskurven. Sogalla findet, dass die Schleuderzuckungscurven, Meyer, dass die ditonischen Zuckungscurven über das Areal der isotonischen resp. der monotonischen herausgehen, dass ihre Zuckungsmaxima später fallen, und zwar dass der Grad der Verspätung abhängig ist von der Schwere der geschleuderten resp. gehobenen Massen.

Was endlich die Arbeitsleistung des Muskels anlangt, so sehen wir, dass wie bei Sogalla die Schleuderzuckungen ebenso auch bei Meyer die ditonischen Zuckungen mehr Arbeit leisten als die isotonischen resp. monotonischen.

Was lässt sich nun aus dem bisher Gesagten schliessen?

Meyer hat offenbar beabsichtigt etwas anderes zu untersuchen, als er thatsächlich untersucht hat. Er hat gedacht, dass das am unteren Hebel angebrachte Gewicht den Muskel während des in Betracht kommenden Theiles der Zuckung — das ist während der untere Hebel gehoben wird, — dauernd mit seinem vollen Betrage spannen würde. Dass dieser Gedanke seiner Untersuchung zu Grunde liegt, darauf weist ja schon der Name ditonische Zuckung hin. Denn durch den Namen soll doch offenbar angedeutet werden, dass während des Verlaufs der Zuckung der Muskel im Wesentlichen zwei verschieden grosse Spannungen hatte, und zwar würde der Muskel im Beginn und am Ende der Zuckung die kleine Spannung haben, die durch den oberen Hebel und das an ihm hängende Gewicht für sich hervor-

gebracht wird. Im mittleren Teil der Spannung würde die grosse Spannung herrschen, die dadurch entsteht, dass nun auch noch der untere Hebel mit seinem Gewicht den Muskel belastet. Die von Meyer sogenannten ditonischen Zuckungen sind aber in diesem Sinne garnicht ditonisch, weil in diesen Versuchen in der Zeit, wo das untere Gewicht vom Muskel bewegt wird, die Spannung des Muskel sich forwährend ändert.

Da somit die Untersuchungen Meyers durchaus nicht den Aufschluss über die Arbeitsleistung und den Verlauf der ditonischen Zuckungen geben, so erschien es nicht überflüssig neue Versuche anzustellen, in denen die Versuchsanordnung so getroffen wurde, dass das Princip der ditonischen Zuckung besser bewahrt blieb. In meinen Untersuchungen wurde dieser Zweck besser als bei Meyer erreicht dadurch, dass auch an dem unteren Hebel die Belastung nach den von Fick für die isotonischen Zuckungen angegebenen Grundsätzen angebracht wurde, und dass die Schreibhebel leichter gewählt wurden als bei Meyer. Im Einzelnen habe ich über meine Versuchsanordnung noch folgendes zu bemerken. An einem Stativ sind in gewöhnlicher Weise angebracht zwei leichte, gleich grosse Schilfhebel in einem Abstande von 12 cm, die Achse des einen genau senkrecht unter der Achse des anderen, sodass die beiden Zeichenhebel senkrecht übereinander an die Schreibflächen angelegt werden können. Die Hebel sind durch einen dünnen Faden mittelst zweier mit Oesen versehener und den Hebeln fest anliegender kleiner Metallschieber miteinander verknüpft. Die Hebel stehen einander genau parallel, und zwar ist dann der Verbindungsfaden straff gespannt. Die Stellung des unteren Hebels kann beliebig variirt durch einen an einem Metallarm angebrachten horizontal verlaufenden Metallstab, der zugleich dem unteren Hebel als Stützpunkt dient. Durch diesen Metallstab kann der untere Hebel zu dem oberen in beliebige Winkelstellung gebracht werden, und es erschlafft dann der Verbindungsfaden. Es ist leicht

ersichtlich, wie bei dieser Anordnung der untere Hebel den Bewegungen des oberen erst dann folgt, wenn der letztere durch die Contraction des Muskels schon bis zu einer gewissen Höhe empor gehoben ist. Es ist ohne Weiteres klar, dass bei sehr hoher Einstellung des Unterstützungsstabes, nur noch der obere Hebel vom Muskel gehoben wird, während der untere unbeweglich in seiner Lage verbleibt, da ja die Verkürzung des Muskels bei seiner Contraction nur bis zu einem gewissen Gerade möglich ist.

An dem oberen Hebel wurde nun das Froschmuskelpräparat (Semimembranosus und Gracilis) in gewöhnlicher Weise befestigt. Die Belastung beider Hebel geschah nach den von Fick für die isotonischen Zuckungen angegebenen Grundsätzen. Der Muskel wurde direct gereizt durch den Inductionsöffnungsstrom eines Du Bois-Reymond'schen Schlitteninductoriums. Die Leitungsdrähte, deren Enden um die Enden des Muskelpräparates je einmal herumgeschlungen wurden, wurden möglichst fein und leicht gewählt, sodass die Bewegung des Muskel nicht gehemmt wurde. Zum Angeben der Verkürzung des Muskels genügte eine Trommel, die nach Bedarf mit der Hand gedreht wurde, im übrigen aber feststand. Die Versuche wurden nun so angestellt, dass ich bei Beginn einer jeden Versuchsreihe den Muskel eine monotonische Zuckung = m machen liess, wo also nur der obere Hebel mit seiner an ihm hängenden Last gehoben wurde. Darauf liess ich mehrere ditonische Zuckungen folgen = $d, d_2 d_3$ u. s. w., die dadurch zustande kamen, dass der untere Hebel vermittels seines Unterstützungsstabes allmählich immer höher eingestellt wurde, wodurch wie schon oben gesagt der Zeitpunkt, in welchem die zweite Last vom Muskel ergriffen wird, variirt wurde. Am Ende einer jeden Versuchsreihe wurde dann wieder eine monotonische Zuckung auf der Trommel verzeichnet, um eine etwa eingetretene Ermüdung des Muskels berücksichtigen zu können.

Bei den ditonischen Zuckungen zeichneten die Hebel senkrecht unter einander in einer Ebene zwei Curven, von denen die obere, die Hubhöhe des oberen Hebels, die untere die Hubhöhe des zweiten Hebels angiebt. Die an der Achse des oberen Hebels hängende Last bezeichne ich mit p_1, die an der Achse des unteren mit p_2, die Hubhöhe der oberen Hebelschreibspitze mit h_1, die der unteren mit h_2.

Aus diesem wurde die Arbeitsleistung des Muskels berechnet, wobei zu berücksichtigen war, dass die wirkliche Hubhöhe des Muskels durch den Hebel in vergrössertem Maassstabe gezeichnet wurde und dass die Spannung des Muskels nur einem Teile des nahe der Hebelachse hängenden Gewichts entsprach.

Es betrugen nämlich die Werte für die Hebellänge = 19,7 cm., für die Entfernung des Angriffspunktes des Muskels von der Achse = 8 cm. und dem Radius der Rollen = 0,5 cm.

Demnach beträgt die geleistete Arbeit:

$$A = \frac{h_1\ 8}{19{,}7} \cdot \frac{p_1\ 0{,}5}{8} + \frac{h_2\ 8}{19{,}7} \cdot \frac{p_2\ 0{,}5}{8}, \text{ d. i.}$$

$$A = [h_1\ p_1 + h_2\ p_2]\ \frac{0{,}5}{19{,}7}$$

Zunächst nun wurde die Arbeitsleistung des Muskels bei maximaler Reizung untersucht. Die geleistete Arbeit ist in den nachfolgenden Tabellen in grmm. angegeben.

I.

11. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	20	—	200	—	101.52
d_1	16	13	200	500	220.81
d_2	16	10	200	500	208.12
m	20	—	200	—	101.52

II.

12. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	24	—	200	—	121.82
d_1	20	16	200	500	309.64
d_2	20	14	200	500	279.18
d_3	20	12	200	500	253.8
m	24	—	200	—	121.82

III.

13. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	18	—	200	—	91.31
d_1	15	11	200	500	215.73
d_2	15	7	200	500	164.97
d_3	14	6	200	500	147.21
m	18	—	200	—	91.31

IV.

14. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	25	—	200	—	126.9
d_1	23	10	200	500	317.26

V.

15. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	21	—	200	—	106.6
d_1	17	10	200	600	238.57

VI.

16. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	24	—	200	—	121.82
d_1	22	14	200	500	289.34
d_2	21	16	200	500	309.64
m	24	—	200	—	121.82

Aus obigen Tabellen ergiebt sich, dass bei den ditonischen Zuckungen bei maximaler Reizung mehr Arbeit geleistet wurde als bei den monotonischen, und zwar ist die Arbeitsleistung um so grösser, je früher das zweite Gewicht vom Muskel gehoben wird. Es stimmt also hierin mein Resultat mit den Angaben Meyers überein.

Sodann untersuchte ich die Arbeitsleistung des Muskels bei ditonischen Zuckungen bei minimaler Reizung. Ebenso wie Meyer machte ich den Reiz so gering, dass der untere Hebel nicht mehr resp. eben noch gehoben wurde. Meyer fand, dass bei der ditonischen Zuckung bei dieser minimalen Reizung weniger Arbeit geleistet wurde als bei der entsprechenden monotonischen. Dass er zu diesem Resultat kam, ist leicht erklärlich aus folgendem Grunde. Der zweite Hebel kann unter Umständan auch bei maximaler Reizung nur wenig gehoben werden, nämlich wenn der Unterstützungsstab sehr hoch gestellt ist, und es ist dann auch, wie Meyer nachgewiesen hat, die Arbeitsleistung der ditonischen Zuckung geringer als bei der monotonischen. Nun sind aber bei hochgestelltem Hebel und maximaler Reizung dieselben Bedingungen vorhanden, wie bei der von Meyer sogenannten minimalen Reizung, bei welcher das am unteren Hebel hängende Gewicht zu gross und unvermindert gelassen wurde. Es zeigte sich aber nun, dass bei minimaler Reizung bei der ditonischen Zuckung trotzdem mehr Arbeit geleistet werden kann als bei der entsprechenden monotonischen,

nämlich wenn man die Last des unteren Hebels vermindert. Die Belastung der beiden Hebel war zunächst dieselbe wie bei maximaler Reizung, wo die ditonische Zuckung mehr Arbeit gegeben hatte als die monotonische. Es gab bei dieser minimalen Reizung natürlich die ditonische Zuckung weniger Arbeit als die monotonische. Ich verminderte nun das Gewicht des unteren Hebels, und infolge dessen konnte nun auch bei minimaler Reizstärke der zweite Hebel wieder höher gehoben werden; und es ergab sich meistens eine grössere Arbeitsleistung als bei den entsprechenden monotonischen Zuckungen. Die Belastung des oberen Hebels wurde in den Versuchen nicht verändert.

I.

11. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
m	10	—	200	—	50.76
d_1	4.9	1.5	200	500	43.9
d_2	4.9	2.5	200	400	50.25
d_3	6.3	3.5	200	300	58.6
d_4	7.0	4.3	200	200	57.3
d_5	7.2	5.1	200	100	49.49
m	9.0	—	200	—	45.68
d_1	3.2	0.5	200	500	22.59
d_2	3.4	0.5	200	400	22.33
d_3	4.5	1.8	200	300	36.54
d_4	5.2	2.4	200	200	38.57
d_5	6.5	4.5	200	100	44.41
m	7.2	—	200	—	36.54

II.

12. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
d_1	4.1	0	200	500	20.4
d_2	4.1	0	200	400	20.4
d_3	6.0	1.6	200	300	42.64
d_4	7.0	2.6	200	200	48.73
d_5	7.0	3.0	200	100	43.14
m	9.2	—	200	—	46.7
d_1	6.5	0	200	500	32.99
d_2	6.8	0	200	400	34.51
d_3	7.5	1	200	300	45.68
d_4	8.6	2.5	200	200	56.33
d_5	9.4	3.5	200	100	56.59
m	10.5	—	200	—	53.29

III.

13. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
d_1	4.0	0.5	200	500	26.63
d_2	5.0	1.5	200	300	36.8
d_3	7.5	3.9	200	100	47.95
m	9.5	—	200	—	48.22
d_1	8.0	4.5	200	100	52.03
d_2	7.0	3.5	200	200	53.29
d_3	4.5	0.6	200	300	27.4
d_4	4.0	0	200	500	20.3
m	7.5	—	200	—	38.07
d_1	6.5	2.8	200	100	40.1
d_2	6 5	2.8	200	200	47.20
d_3	4.0	0.5	200	400	25.38
m	7.0	—	200	—	35.53
d_1	4.8	1.4	200	200	31.47
d_2	5.8	2.3	200	100	35.27
m	8.0	—	200	—	40.6
d_1	7.0	3.5	200	200	53.3
m	9.0	—	200	—	45.68
d_1	7.0	3.5	200	200	53.3
m	9.0	—	200	—	45.68
d_1	7.0	3.2	200	200	51.77
m	9.0	–	200	—	45.68
d_1	6.8	3.2	200	200	50.76
m	8.8	—	200	—	44.67

IV.

14. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
d_1	4.0	0.5	200	500	26.65
d_2	9.0	5.0	200	200	71.06
m	10.5	—	200	—	53.29
d_1	3.5	0.5	200	500	24.11
d_2	8.0	4.0	200	200	60.91
m	9.0	—	200	—	45.68
d_1	9.5	6.0	200	200	78.68
d_2	5.0	1.0	200	500	38.07
d_3	9.0	5.0	200	200	71.06
m	10.8	—	200	—	54.82
d_1	9.0	5.0	200	200	71.06
d_2	6.5	2 0	200	500	58.37
d_3	8.0	4.0	200	200	60.91
m	9.5	—	200	—	48.22
d_1	4.5	0.5	200	1000	35.53
d_2	9.0	5.0	200	500	109.13
m	12.0	—	200	—	60.91
d_1	5.0	0.5	200	1000	38.07
d_2	9.0	4.5	200	500	102.79
m	12.0	—	200	—	60.91
d_1	6.5	0.5	200	1000	45.68
d_2	7.0	3.0	200	500	73.60
m	12.0	—	200	—	60.91

V.

15. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
d_1	7.0	0.5	200	600	43.14
d_2	10.0	3.5	200	300	77.44
m	13.0	—	200	—	65.9
d_1	11.0	4.5	200	200	78.68
d_2	7.5	0.5	200	600	45.68
d_3	10.0	3.5	200	200	68.52
m	12.0	—	200	—	60.91
d_1	7.5	0.5	200	600	45.68
d_2	9.0	2.7	200	200	59.4
m	11.5	—	200	—	58.37
d_1	10.0	4.0	200	100	60.91
d_2	7.0	0.5	200	300	39.3
d_3	7.0	0.2	200	500	38.07
d_4	8.0	1.7	200	200	49.24
d_5	9.5	3.0	200	100	55.83
m	10.5	—	200	—	53.29

VI.

16. Juli 1898.

	h_1	h_2	p_1	p_2	Arbeitgmm.
d_1	4.0	0.5	200	500	26.65
d_2	5.6	2.0	200	300	43.65
d_3	7.0	3.5	200	200	53.3
m	9.0	—	200	—	45.68
d_1	4.5	0.5	200	500	29.18
d_2	7.5	4.0	200	200	58.37
m	9.5	—	200	—	48.22
d_1	6.0	2.5	200	200	43.14
d_2	4.0	0.5	200	500	26.65
d_3	4.0	0.5	200	500	26.65
d_4	7.5	4.0	200	200	58.37
m	9.5	—	200	—	48.22
d_1	4.5	0.5	200	500	29.18
d_2	6.5	3.0	200	200	48.22
m	9.0	—	200	—	45.68
d_1	4.5	0.5	200	500	29.18
d_2	5.0	2.0	200	200	35.53
m	8.0	—	200	—	40.6
d_1	4.0	0.5	200	300	24.11
d_2	8.5	5.5	200	100	57.1
m	8.0	—	200	—	40.6
d_1	5.0	1.0	200	500	38.07
d_2	6.5	3.0	200	200	48.22
m	10.0	—	200	—	50.76
d_1	8.0	5.0	200	100	53.29
d_2	4.0	0.5	200	400	25.38
d_3	7.5	4.5	200	100	49.49
m	9.5	—	200	—	48.22

Aus den Tabellen geht deutlich hervor, dass man auch bei minimaler Reizung bei den ditonischen Zuckungen eine grössere Arbeitsleistung erhalten kann, wenn man die am zweiten Hebel hängende Last in der angegebenen Weise vermindert. Dass manchmal doch weniger Arbeit geleistet wurde, lag wahrscheinlich daran, dass wir wohl nicht die geeignete Belastung gewählt hatten.

Endlich untersuchte ich noch den Verlauf der ditonischen Spannungs- und Verkürzungskurve. Wie oben bereits nachgewiesen, ist die Versuchsanordnung Meyer's von der Sogalla's im Wesentlichen nicht verschieden, und ist es deshalb gar nicht wunderbar, dass beide in ihren Untersuchungen über die ditonischen- resp. die Schleuderzuckungskurven zu ganz ähnlichen Resultaten kamen.

Meyer hat nun gefunden, dass die Dauer der ditonischen Zuckung länger ist als die der monotonischen, und dass auch die Zuckungsgipfel bei der ditonischen Zuckung später fallen. Das liegt aber nur daran, dass die von Meyer direct am Muskel angehängte zweite Last geschleudert wurde. Wenn man die am unteren Hebel hängende Last isotonisch nach Fick anbringt, dann giebt es ein anderes Resultat. Bei diesen Versuchen benutzte ich zu den nötigen Muskelpräparaten (Semimembranos und Gracilis) kleinere Frösche, um Schleuderungen thunlichst zu vermeiden. Das obere Ende des Muskelpräparates wurde mit einem von Gad angegebenen Spannungszeichner verbunden, während das untere Ende wie bei den früheren Versuchen mit den beiden Hebeln verknüpft war. Die Spitze des unteren Hebels wurde ausgeschaltet, sodass also nur die Spitze des oberen Hebels zeichnete. Der Verlauf der Spannung und Zuckung des Muskels wurde in gewöhnlicher Weise registrirt mittels eines von Fick angegebenen Cylindermyographions[1]).

Die einzelnen Versuche wurden so angestellt, dass ich den Muskel zuerst eine monotonische Zuckung ausführen liess (Gewicht an der Achse des oberen Hebels = 200 gr), dann eine ditonische mit 500 gr. endlich eine ditonieche mit 1000 gr an der Achse des unteren Hebels.

Aus den meiner Abhandlung beigegebenen Kurven (siehe Figur 1) ist nun deutlich zu ersehen, dass der Muskel während des Verlaufes der Zuckung zwei verschieden grosse Spannungen hatte und zwar im Beginn der Zuckung die

1) Siehe: Medicin. Physik, Internationale wissenschaftliche Bibliothek Bd. 51. A. Fick: Muskelthätigkeit.

kleine Spannung, die allein durch den oberen Hebel und die an ihm hängende Last erzeugt wird. In dem Momente nun, wo auch der zweite Hebel mit der an ihm befindlichen Last vom Muskel ergriffen wird, sehen wir eine deutliche Zunahme der Spannung, die sich eine Zeit lang auf gleicher Höhe erhält, solange nämlich das zweite Gewicht den Muskel spannt. Sobald dann das zweite Gewicht nicht mehr am Muskel zog, wie das am Ende der Zuckung der Fall ist, sehen wir die Spannung wieder abnehmen weil jetzt ebenso wie im Beginn der Zuckung nur noch der obere Hebel mit dem an ihm hängenden Gewichte auf den Muskel einwirkte.

Das Hauptresultat enthalten die Kurven des Längenzeichners. Da zeigt sich, dass der Verlauf der ditonischen Zuckungskurve ganz anders ist als der Verlauf der Kurve, die Meyer angegeben hat. Wir sehen, wie der „Umschlagspunkt“ sowohl im ansteigenden als auch im absteigenden Kurvenschenkel sich dutlich markiert, was genau dem Zeitpunkte entspricht, wo die kleine Spannung in die grosse übergeht, resp. wo die grosse Spannung wieder auf das Stadium der Anfangsspannung herabsinkt. Zwischen beiden liegt der Zuckungsgipfel, er entspricht dem mittleren Teile der Spannungskurve, wo also die grosse Spanuung herrschte.

Solange nun der untere Hebel mit seiner Belastung am Muskel zog, zeigt sich, dass das Areal der ditonischen Zuckung vollständig innerhalb des Bereiches der monotonischen Zuckung liegt. Es geht also die ditonische Zuckung nicht über das Areal der monotonischen heraus, wie das Meyer gefunden hat. Auch fallen die Zuckungsmaxima bei der ditonischen Zuckung nicht später, sondern früher, wie das aus den beigebrachten Kurven deutlich hervorgeht.

Erst das Endstück der ditonischen Zuckung, wo nur noch der obere Hebel mit der an ihm hängenden Last auf den Muskel einwirkt, geht unter Umständen über das Areal der monotischen Zuckung heraus besonders dann, wenn man den Unterstützungsstab des unteren Hebels höher einstellt,

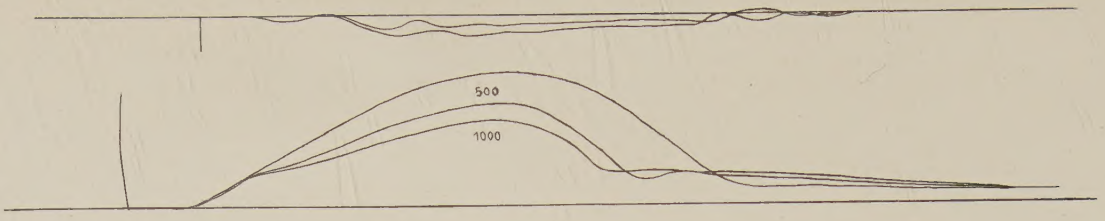
wenn man also den Zeitpunkt, wo der untere Hebel vom Muskel gehoben, später legt. Dieses Verhalten wird illustriert durch Figur 2 und 3. Figur 2 enthält 5 Zuckungen, eine monotonische bei 200 gr. am oberen Hebel, 4 ditonische bei 200 gr. am unteren Hebel. Figur 3 stellt ebenfalls 5 Zuckungen dar, eine monotonische bei 200 gr. am oberen und 4 ditonische bei 500 gr. am unteren Hebel.

Diese Kurven zeigen, wie das Endstück der ditonischen Zuckung um somehr über das Areal der monotonischen herausgeht, je höher der Unterstützungsstab eingestellt wird, bis schliesslich bei hoher Einstellung desselben die Zuckung zur „Anschlagszuckung“ wird, das ist also, wenn der zweite Hebel vom Muskel erst zu einer Zeit ergriffen wird, wo derselbe schon fast die Grenze der ihm möglichen Verkürzung erreicht hat.

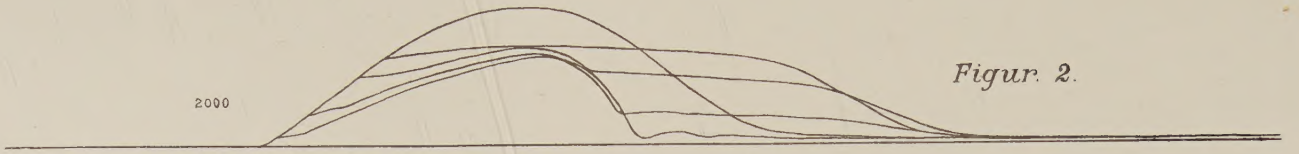
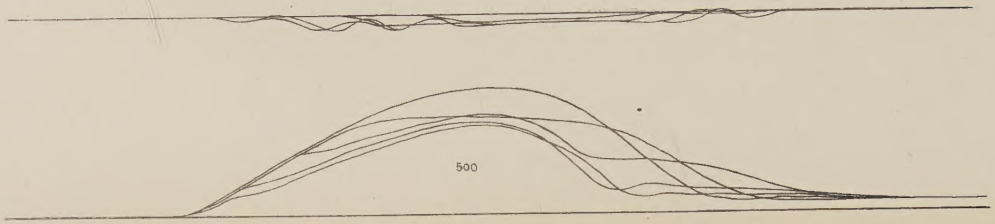
Zum Schluss erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Fick für die gütige Überweisung des Themas sowie Herrn Privatdocent Dr. Schenk für seine liebenswürdige Unterstützung bei meinen Arbeiten meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Hofbuchdruckerei C. A. Kaemmerer & Co., Halle

Figur 1.



Figur 2.



Figur 3.